

サッカーのヘディングにおける 機械的効率

山 本 博 男

Mechanical Efficiency of Heading Exercise in Soccer

Hiroh YAMAMOTO

はじめに

サッカーにおける個々の技術は、どの程度のエネルギー消費を要するのであろうか。

サッカーの技術を身体運動学的立場から研究した報告には、これまでキックを取り上げた例が多く、基本技術の一つであるヘディングに関しては、基礎的研究を含めて、ほとんどなされていない。

ヘディングの技術について、竹内と瀬戸(1968)¹⁷⁾は、「頭部でボールを扱うことは一見危険なようであるが、正しくヘディングすれば、痛みもなく、足でボールを蹴るのと向の変わりもない」と述べている。岡野(1969)¹⁵⁾は「ヘディングは頭を使ったキックである」とし、正確なヘディングをするためには「キックと同様にボールに当たる部分、つまり、額の正面が常に固定されていなければならない」、そのためには「首筋に力を入れ、顔がまっすぐに押し出されることが必要である」と述べている。またチャナデイ(1967)¹¹⁾は、スタンディングでのヘディングについて、「両脚を前後に関き、両膝を軽く曲げ、上体を適度に前に傾け、両腕は肘を曲げて力を抜き体のバランスをとるといった

準備の姿勢に入つた後、上体を後方に傾け、顎を引いて、曲げた膝を伸ばすと同時に上体を力強く前方に振る」と述べている。

この一見単純そうなヘディング動作でも、何十本も行なう場合、かなりきつい運動であると思われる。

本研究では、サッカーにおいてキックとともに重要な技術であるヘディングについて、その技術を効率の面からとらえ、ヘディング技術の客観的な評価の、一つの基礎資料を提供したい。

従つて、本研究の目的は、サッカーにおけるヘディング動作について、ヘディング中のボールスピードと、酸素摂取量を測定し、ヘディングの機械的効率を求めることである。

研究小史

これまで、サッカーに関する身体運動学的な研究は、キックを中心に行なわれてきた。

高木ら(1967)¹⁶⁾は、インステップキックの筋電図をとり、熟練者、未熟練者の働き方の違いを比較検討した、

田中(1966)²⁰⁾は、インステップキックのフォーム、特に蹴り脚について映画分析した。

浅見と戸茱 (1968)²⁾は、インステップキック時のボールスピードと脚伸展パワーを測定し、その関係について検討した。さらにサッカー経験年数とキック力及びパワーの関係も併せて検討した。

Brooke et al. (1970)⁸⁾は、サッカーのキックの最大距離と脚節力との間に相関がなかったことを報告している。

Vogelsinger (1970)²⁹⁾は、アメリカンフットボールとサッカーのキックについて足のスピードとボールスピードの関係を測定し、インパクト後の足のスピードを計算に入れて衝突時の足の質量を求めている。

浅井ら (1979)¹⁾は、インステップキックについてキックの方向と助走する方向を、映画分析によって比較検討した。

戸茱ら (1972)²⁴⁾はインステップキック時のボールスピード、足のスイングスピード及びボールと足の接触時間を測定し、その関係を検討した。

戸茱ら (1971)²²⁾はボールと足の接触時間とボールスピードの関係について述べている。

浅見ら (1974)⁵⁾は、脚伸時の筋力、スピード、パワー、インステップキックによるボールスピードを測定してその関係を検討した。

Bloomfield et al. (1979)⁷⁾は、サッカーのキックを映画撮影し、フォーム(特に脚の動き)を分析することによってキックにおける動作発達の様子を研究した。

瀧井ら (1979)¹⁹⁾は、立位姿勢による股関節屈曲能力(等尺性最大筋力、股関節屈曲パワースイングスピード等)を測定し、ボールスピードとの関係を検討した。

浅見ら (1971)³⁾は、インステップキックの消費エネルギーとボールスピードを測定し、キックの技術を効率の面から検討している。

さらに浅見ら (1972)⁴⁾はキックにおけるボールスピードとエネルギー効率との関係を各個人毎について検討した。

菊地ら (1972)¹²⁾は、ヘディングによるボー

ルススピードとスイングスピード、さらにヘディングフォームによるパワーを測定し、ヘディング技術をキネシオロジ的に研究した。

増永 (1980)¹³⁾は、椅座位姿勢におけるヘディングポイントとボールスピードの関係を研究した。

そのほか、サッカーに関する研究として、鶴岡と福原 (1965)²⁷⁾によるゲーム分析の測定内容についての報告、鶴岡ら (1968)²⁸⁾による 125 試合のゲーム分析の報告、瀧井ら (1971)¹⁸⁾によるシュートフォームの分析、Carū et al. (1970)⁹⁸⁾によるサッカー選手の最大有酸素的筋パワーと最大無酸素的筋パワーの報告がある。さらに、戸茱と浅見 (1971)²³⁾によるスローアンの飛距離と体力の関係及びメディシンボールによるトレーニング効果の報告、中村と伊藤 (1971)¹⁴⁾によるサッカー競技の心拍数変化に関する報告、戸茱と高橋 (1977)²⁵⁾による全身反応時間に関する報告、戸茱ら (1979)²⁶⁾による一流サッカー選手の体力に関する報告などがある。

方 法

〔1〕 実験期間

1980 年 11 月 3 日から同年 12 月 14 日

〔2〕 実験場所

金沢大学教育学部別館人口及び、金沢大学教育学部体育学実験室

〔3〕 被 検 者

被検者はサッカー経験者として金沢大学サッカー部員 8 名(サッカー歴: 7-10 年)と、未経験者として金沢大学教育学部体育科学学生男子 2 名の計 10 名であった。被検者の身体的特徴を表 1 に示す。

〔4〕 測定項目

(1) ボールスピード

被検者は金網を貼付したヘッドキャップを装着し、9 m の高さから吊り下げられたペンドルボールを 2 秒に 1 打の頻度で、メトロノームに合わせてヘディングの動作を 6 分間行なった。ただし、常にボールを最初の位置に戻して静止

Table 1. Physical characteristics of subjects

Subject	Height (cm)	Weight (kg)	Age (yrs)	Rest (1/min)	$\dot{V}O_{2\max}$ (1/min)	$\dot{V}O_{2\max}$ (ml/kg.min)
T.D.	166.7	58.9	21.5	0.23	3.86	65.53
S.K.	175.2	66.4	22.6	0.31	3.91	57.33
K.N.	168.1	61.5	19.8	0.22	3.75	62.50
T.S.	167.2	68.5	20.2	0.24	3.42	48.51
H.T.	170.8	63.2	20.4	0.26	2.86	45.25
S.N.	181.8	75.8	19.4	0.28	3.36	44.33
M.M.	164.7	54.1	20.1	0.24	3.07	56.75
N.S.	178.3	74.7	20.2	0.27	3.46	46.32
T.N.	168.0	54.0	21.5	0.30	2.90	53.70
M.F.	175.0	78.8	21.0	0.27	4.18	53.05
Mean	171.6	65.6	20.7	0.26	3.48	53.33
S.D.	5.37	8.39	0.92	0.03	0.42	6.92

したボールに対してヘディング動作を行なった。

ボールスピードの測定に関しては、光電管を利用して、ボールの移動時間をデジタイマーに1打毎に表示させ(ボールとヘッドキャップに金網を貼付し、それが接触するとタイマーが作動し、接触地点から0.5m離れた所にセットされた光をさえぎるとタイマーが停止するように接続した。), ボールの移動距離0.5mと移動時間からボールスピードを求めた。1打1打のボールスピードが一定になるように、1打毎に時間を読み取りその結果を被検者に声で知らせた。被検者には、規定されたスピードのデジタイマーの表示時間をあらかじめ知らせておき、1打毎に実際の表示時間を聞かせ、同一スピードになるように努力させた。

実験は、遅いスピードから最高スピードまでの4~5種類のスピードによる実験を同一方法で行なった。なお、遅いスピードから順にTEST I. II. III. IV. Vとした。

(2) 酸素摂取量

ヘディング運動中の酸素摂取量は、運動の4~5分と、5~6分にダグラスバック法で呼気ガスを採気し、ショランダー微量ガス分析器で分析して求めた。(写真1)

安静時の酸素摂取量は、運動前に30分間安静

をとり、その後の10分間の呼気を上述の方法で採気、分析し、1分間値に換算して求めた。

〔4〕 機械的効率の算出方法

$$\text{機械的効率} = \frac{\text{外部になした機械的仕事}}{\text{運動に要したエネルギー}} \times 100$$

本研究では外部になした機械的仕事を、ボールに与えられた運動エネルギー ($1/2mv^2$) の総和量とした。また、運動に要したエネルギーは、酸素摂取量から求めた。

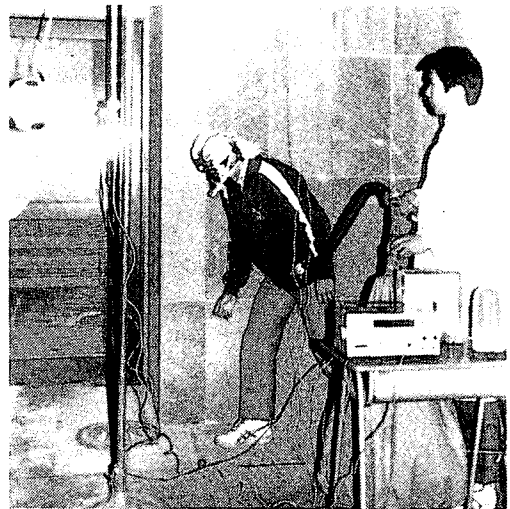


写真1. 実験風景

Net Efficiency (%)

$$= \frac{1/2m \sum_{k=1}^{30} v_k^2}{426.85 \times \{(E - E_0) \times 5.05\}} \times 100$$

m: ボールの質量 0.51(Kgs²/m)

v: ボールスピード (m/s)

E: 運動中の酸素摂取量 (l/min)

E₀: 安静時の酸素摂取量 (l/min)O₂1l=5.05kcal

1kcal=426.85kgm

機械的効率とは、ヘツディング運動中の 4~5 分の機械的効率と 5~6 分の機械的効率をそれぞれ求め、その 2 つの平均値をヘツディングの機械的効率とした。

被検者 S.K. と T.D. については、TEST I, II, III, IV, V の実験のほかに、連続ヘツディング動作を被検者の最も打ちやすいスピードで 6 分間行ない、前述の実験と同様に機械的効率を求めた。(TEST VI)

Net Efficiency (純効率)

$$= \frac{\text{機械的仕事}}{\text{全消費エネルギー} - \text{安静時の消費エネルギー}} \times 100$$

結 果

TEST I から TEST V までの各被検者におけるボールスピードと機械的効率の関係を図 1, 図 2, 図 3, 図 4, 図 5, 図 6, 図 7, 図 8, 図 9, および図 10 に示した。図は横軸に平均のボールスピード、縦軸に機械的効率をとり○印で示した。(図 1, と図 5 の●印は TEST VI の結果を示す。)

被検者 S.K. (図 1) において、機械的効率は上に凸の二次曲線的なカーブを示し、機械的効率の最も高いボールスピードの存在することが認められた。ボールスピードが 3.33m/s において (TEST II) 機械的効率が最も高く 5.33% を示し、ボールスピードは、最大ボールスピード 4.81m/s の約 69% であった。

また、TEST VI (ボールスピード 3.96m/s) における機械的効率は 5.39% であり、TEST I から TEST V までの中で最も機械的効率が高い TEST II よりも高かった。

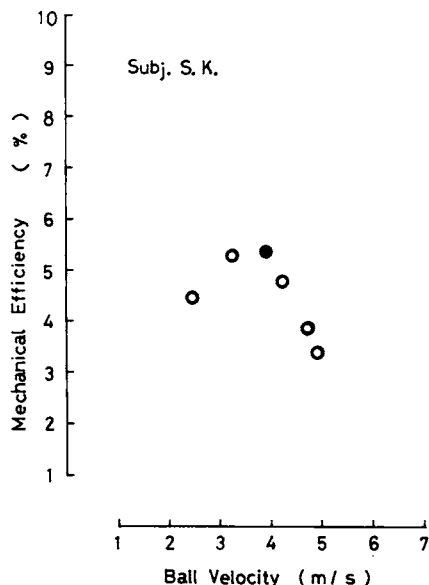


Fig. 1. Relationship between ball velocity and mechanical efficiency for subject S.K. (●.....TEST VI)

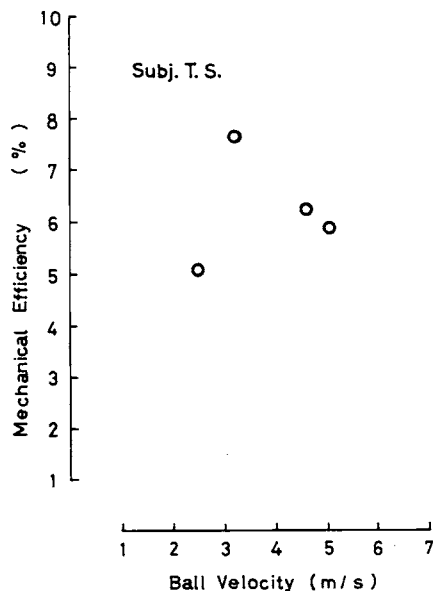


Fig. 2. Relationship between ball velocity and mechanical efficiency for subject T.S.

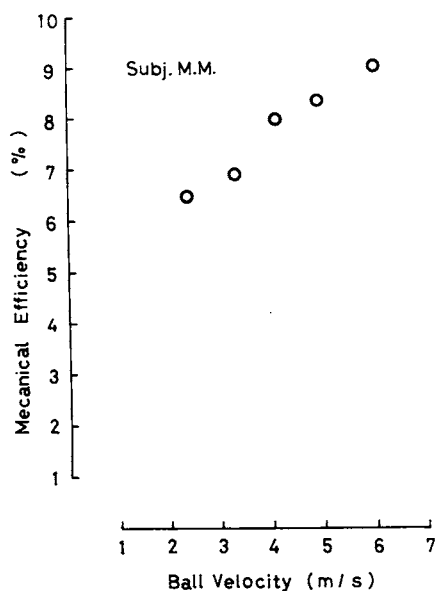


Fig. 3. Relationship between ball velocity and mechanical efficiency for subject M. M.

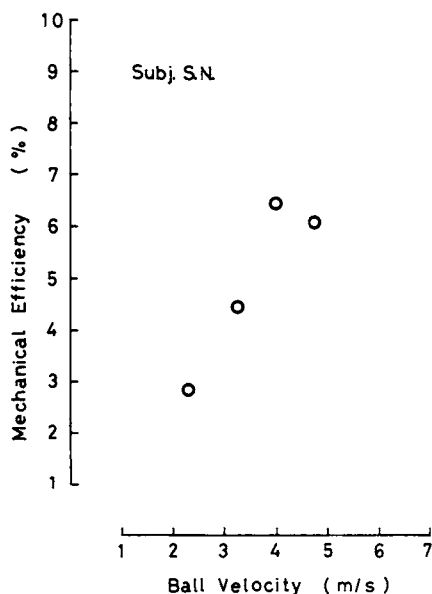


Fig. 4. Relationship between ball velocity and mechanical efficiency for subject S. N.

被検者 T.S. (図 2) の場合、機械的効率は上に凸の曲線を示し、ボールスピード 3.24m/s において (TEST II) 機械的効率が最も高く、7.70% を示し、ボールスピードは最大ボールスピード 5.12m/s (TEST V) の約 63% であった。

被検者 M.M. (図 3) の場合、機械的効率はボールスピードが増すにつれて直線的に増加し、最大ボールスピード 6.06m/s において (TEST V) 機械的効率が最も高く 8.92% を示した。

被検者 S.N. (図 4) の場合、機械的効率は上に凸の曲線を示し、ボールスピードが 4.09m/s において (TEST III) 機械的効率が最も高く、6.47% を示し、ボールスピードは最大ボールスピード 4.77m/s (TEST IV) の約 86% であった。

被検者 T.D. (図 5) の場合、機械的効率は上に凸の二次曲線的なカーブを示し、ボールスピードが 3.12m/s において (TEST II) 機械的効率が最も高く、5.30% を示し、ボールスピードは最大ボールスピード 4.58m/s (TEST V) の約 68% であった。また、TEST VI (ボールスピード 4.45m/s) における機械的効率は 4.54% であり、TEST V までの中で最も機械的効率が高い TEST II よりも高かった。

被検者 N.S. (図 6) の場合、機械的効率はボールスピード 4.51m/s において (TEST V) 機械的効率が最も高く、4.32% を示した。

被検者 K.N. (図 7) の場合、機械的効率は上に凸の二次曲線的なカーブを示し、ボールスピードが 3.92m/s において (TEST III) 機械的効率が最も高く、5.57% を示し、ボールスピードは最大ボールスピード 4.68m/s (TEST V) の約 84% であった。

被検者 H.T. (図 8) の場合、機械的効率はボールスピードが増加し、最大ボールスピード 5.22m/s (TEST V) において機械的効率が最も高く、6.08% を示した。

被検者 T.N. (図 9) の場合、機械的効率は上に凸の曲線を示し、ボールスピードが 3.98m/s において (TEST III) 機械的効率が最も高く、8.22% を示し、ボールスピードは最大ボールスピ

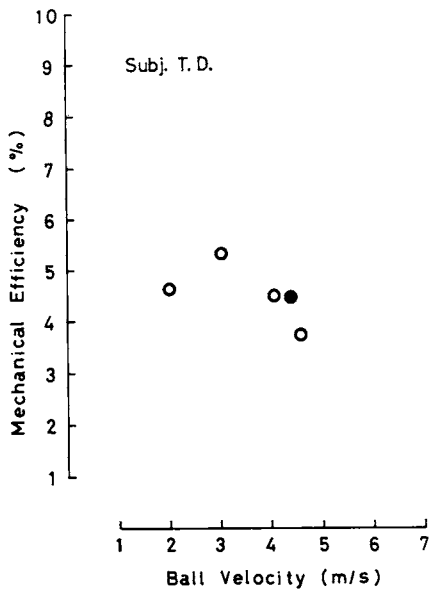


Fig. 5. Relationship between ball velocity and mechanical efficiency for subject T. D.
(●.....TEST VI)

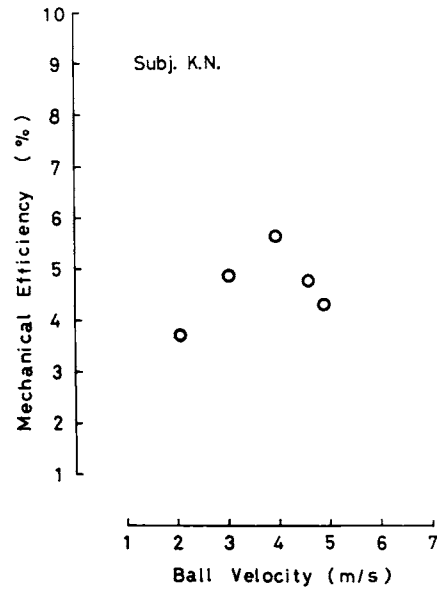


Fig. 7. Relationship between ball velocity and mechanical efficiency for subject K. N.

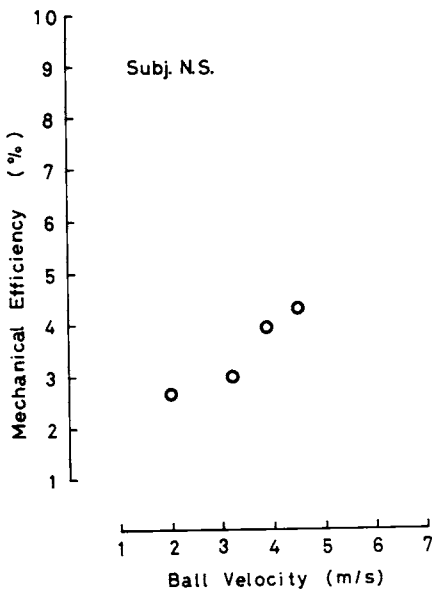


Fig. 6. Relationship between ball velocity and mechanical efficiency for subject N. S.

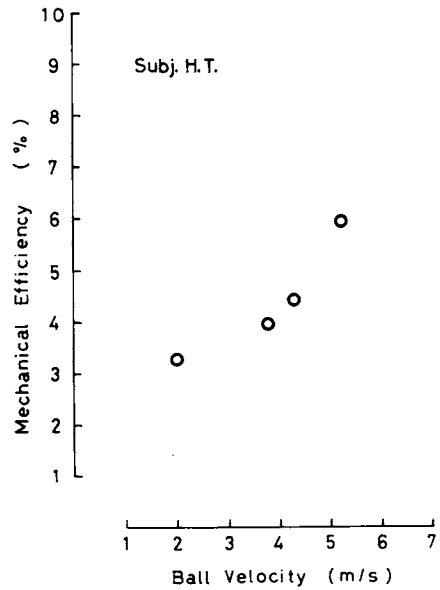


Fig. 8. Relationship between ball velocity and mechanical efficiency for subject H. T.

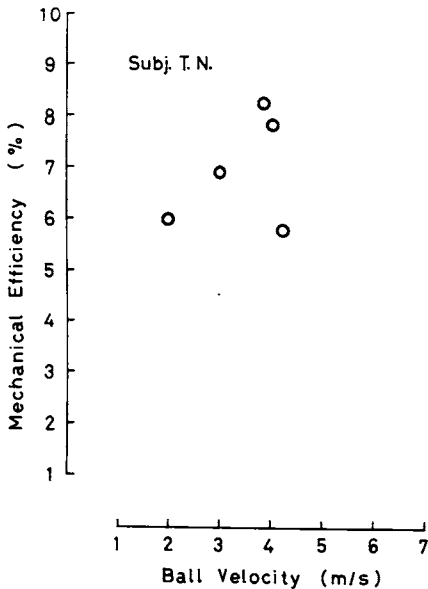


Fig. 9. Relationship between ball velocity and mechanical efficiency for subject T. N.

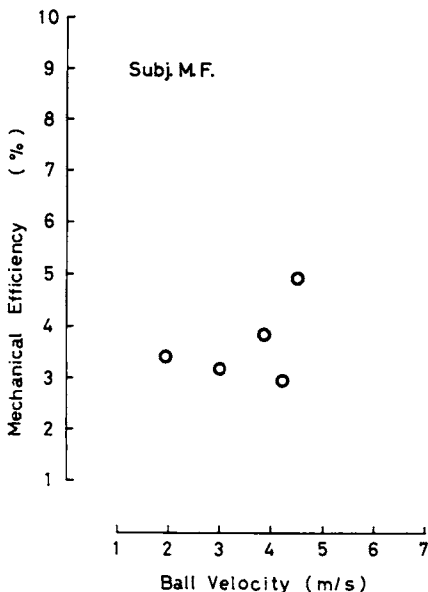


Fig. 10. Relationship between ball velocity and mechanical efficiency for subject M. F.

ード 4.35m/s (TEST V) の約 91% であった。

被検者 M.F. (図 10) の場合、ボールスピードと機械的効率の間係は、はつきりした傾向がなかった。最大ボールスピード 4.50m/s において (TEST IV) 機械的効率が最も高く 5.01% を示した。

考 察

本研究において、ボールスピードと機械的効率の関係から、上に凸の曲線を示し、機械的効率の最も高いボールスピードが存在するグループとボールスピードが増すにつれて機械的効率も高くなるグループの、およそ 2 種類のグループに分けることができる。

被検者 10 名のうち 6 名において、ヘディングの機械的効率は、ヘディングによるボールスピードに対して上に凸の曲線を示し、機械的効率の最も高いボールスピードの存在することが認められた。上に凸の曲線を示した 6 名のうち、サッカー経験者 5 名は最大ボールスピードの 63~84% のボールスピードで最大効率が現われ、未経験 1 名は最大ボールスピードの 91% のボールスピードで最大効率が現われている。これは、浅見ら⁴⁾によるキックにおける効率の研究結果と一致する。

また、被検者 10 名のうち 3 名は、ボールスピードが増すにつれて機械的効率が高くなった。本研究のヘディング動作は、主に腹直筋と広背筋の短縮、伸長による反復動作であると考えられる。Cavagna ら¹⁰⁾は、筋の強制伸長後の短縮における仕事量は等尺性収縮後の短縮における仕事量よりも大きく、その比は速度が増すにつれて大きくなると報告し、これを、筋弾性エネルギー利用度増加のためとしている。

また、Asmussen ら⁶⁾は、反動動作を用いた運動のほうが、機械的効率が高いと報告している。このことから、本研究において、ボールスピードが増すにつれて機械的効率が高くなった被検者 3 名は、上体を後方に傾ける時の反動動作を効果的に使用したと考えられる。

また、山本³⁰⁾は被検者に身体重心を 10～13 cm 上下させる膝関節の屈曲運動で、テンポを 1 分間に 44 回、60 回、70 回、負荷として 0 kg、10 kg、20 kg のおもりを腰にとりつけて運動ぎ行なわせたところ、下肢屈曲運動の機械的効率は運動のテンポが速くなるにつれて増加し、同一テンポでは、無負荷の時よりめ負荷をかけた時の効率が高かったと報告している。その理由として、テンポ間の機械的効率の増加は必しも筋の弾性エネルギー利用の増大だけではなく、筋の収縮要素の効率の増大が寄与していることも考えられると報告している。

本研究において、頻度（テンポ）が一定（2 秒に一打）でボールスピードを増加した動作は、負荷を増加した状態であると考えられる。

従って、ボールスピードが増すにつれて、筋の収縮要素の効率が増大し、機械的効率が高くなったと考えられる。

次に、被検者 S. K. および T. D. における連続ヘディング（TEST VI）の結果について考察してみよう。

TEST VI における連続ヘディングは、戻ってくるボールをタイミングよく打ち続けるヘディング運動であるが、このときの機械的効率は、2 名の被検者とも TEST I から TEST V もでの効率と比較すると、同じくらいのボールスピードでは高い効率を示したが、仕事量と酸素摂取量は少なかった。仕事量が少ないのは、本研究ではペンドルボールを吊したが 9 m と長いいため、連続ヘディングでは運動時間を規定するとヘディングの回数が少なくなるためである。また、酸素摂取量が少ないのは、被検者の打ちやすいボールスピードで行なわれたためであろう。

増永¹³⁾はヘディングポイントとボールスピードの研究で椅座位姿勢におけるヘディングでボールスピードが最も大きくなるのは、ボールを前方約 30 cm の位置にセットした場合であると報告している。

本研究において、ヘディングポイントに影

響を与える被検者の足の位置を正確に規定しなかったため、フォームにばらつきがあったと思われる。また、被検者間の身長差が大きかったため、各被検者毎にボールの位置を修正したが、はたして被検者に最も適したボールの高さであったかという点に問題が残った。

今後、スイングスピードや打点の位置および重心の移動などを映画分析などで測定し、ヘディングフォームと関連づけてより正確なヘディングの身体運動学的研究が望まれる。

また、熟練者と添熟者の比較をするために、未経験年数の差やスキルテストの得点の差が大きいグループを対象とした研究が必要である。

要 約

本研究では、大学サッカー部員 8 名、体育科男子学生 2 名の計 10 名を対象として、ヘディングの機械的効率を測定した。本実験においてはペンドルボールによるスタンディングヘッドを 4～5 種類のスピードでそれぞれ 6 分間続けて行ない、ボールスピードから計算された仕事量との比から機械的効率を求めた。

その結果、機械的効率の最も高いボールスピードが存在するグループと、ボールスピードが増すにつれて効率も高くなるグループに分かれ、それぞれグループにおける最大効率は、8.22%、8.92%であった。前者において最大効率を示すボールスピードは、サッカー経験者では最大ボールスピードの 63%～84%、未経験者では 91%であった。この未経験者の機械的効率は、サッカー経験者よりも高かった。この原因として、ヘディングフォームなどが関係していると思われる。

ヘディングの機械的効率について、本研究では各被検者間の差が大きく、一貫した傾向は認められなかった。その原因として、TEST と TJST の間の休憩時間や、TEST の順序にも問題があると思われる、今後検討の必要があろう。

参 考 文 献

- 1 浅井武他:サッカーのインステップキックについての力学的考察, 日本体育学会第 30 回大会号;369, 1979.
- 2 浅見俊雄, 戸苅晴彦:サッカーのキック力に関する研究, 体育学研究, 12-4;267-72, 1968.
- 3 浅見俊雄他:エネルギー効率からみたスポーツ技術の分析, 体育学研究, 15-5, 123, 1971.
- 4 浅見俊雄他:エネルギー効率からみた運動技術の分析第 3 報, 日本体育学会第 23 回大会号;218, 1972.
- 5 浅見俊雄他:サッカーのキックにみられるパワーとパフォーマンスとの関係について, キネシオロジー研究会編, 身体運動の科学 I, z 林書院;147-57, 1074.
- 6 Asmussen, E. and F. Bonde-Petersen. Apparent efficiency and storage of elastic energy in human muscles during exercise. *Acta. Physiol. Scand.* 92;537-545, 1974.
- 7 Bloomfield, J., B.C. Elliott and C.M. Davies.: Development. of the soccer kick, *Acinematographical analysis. J. of Human Movment Studies*, 5; 152-159, 1969.
- 8 Brooke, J.D., et al. :The relationship between soccer kick length and static and explosive leg strength. *British J. of physical education.* 1(3); 17-18, 1970.
- 9 Carü, B, L.L. Coultre P. Aghemo and F.P. Limas: Marimal aerobic and anaerobic muscular power in football players. *J. Sports Med*, 10;100-103, 1970.
- 10 Cavagna, G.A., B. Dusman and R. Margaria; Positive work done by a previously stretched muscles. *J. Appl. Physiol.* 24;21-32, 1968.
- 11 チャナディ, A. (村岡博人, 窪田登訳), チャナディのサッカー〈技術・戦術編〉, ベースボールマガジン社, 1967.
- 12 菊地武道他:ヘディングのキネシオロジー的研究, 日本体育学会第 23 回大会号;218, 1962.
- 13 増永正幸;サッカーにおける基礎的研究ーヘディングポイントとボールスピード, 国学院大学体育学研究室紀要, 12;20-30, 1980.
- 14 中村雄志, 伊藤孝夫;蹴球競技の対人動作における心拍数変化について, 体育学研究, 15(5);103, 1971.
- 15 岡野俊一郎;サッカー教室, 鶴書房, 1969.
- 16 高木公三郎他;Kick の筋電図学的研究 (第 1 報), 体育学研究, 5 (3) ;79-83, 1961.
- 17 竹内京一, 瀬戸進;新体育学講座第 50 巻コーチ学 (サッカー編) 逍遙書院, 1968.
- 18 瀧弘之他;サッカーのシュート技術に関する実験的研究, 日本体育学会第 22 回大会号;473, 1971.
- 19 瀧井敏郎他:サッカーのキックにみられるパワー特及びパワーとパフォーマンスとの関係について, 日本体育学会第 30 回大会号;213, 1979.
- 20 田中純二:サッカーのキックのキネシオロジー, 体育の科学, 16 (12) :664-67, 1966.
- 21 Thys, H., G.A. Cavagna and R. Margaria;The role played by elasticity in an exerise involving movements of amall amplitude. *Pflugers Arch.* 354;281, 1975.
- 22 戸苅晴彦他:サッカーのキネシオロジー的研究 (II), 体育学研究, 15 (5) :109, 1971.
- 23 戸苅晴彦, 浅見俊雄:サッカーのスローインについて (1), 東京大学教養学部体育学科紀要, 6;33-38, 1971.
- 24 戸苅晴彦他:サッカーのキネシオロジー的研究 (1), 体育学研究, 16 (5) :259-64, 1972.
- 25 戸苅晴彦, 高橋孝太郎:サッカー選手の反応時間について, 東京大学教養学部体育学紀要, 11;35-41, 1977.
- 26 戸苅晴彦他:一流サッカー選手の体力について, 東京大学教養学部体育学紀要, 13;33-42, 1979.
- 27 鶴岡英一, 福原黎三:サッカーのゲーム分析 (第一報) 測定方法について, 体育学研究, 9 (2) :39-42, 1965.
- 28 鶴岡英一他:サッカーのゲーム分析 (2) 体育学研究, 13 (2) :40-44, 1968.
- 29 Vogelsinger, H.: Wining soccer skill and techniques. Parker Publishing, 1970.
- 30 山本博男:下肢屈伸運動の機械的効率, 金沢大学教育学部紀要第 27 号 (自然科学編) :85-88, 1979.